第 37 卷第 20 期 2017 年 10 月 | 生 态 学 报 ACTA ECOLOGICA SINICA | Vol.37,No.20 Oct.,2017

DOI: 10.5846/stxb201607251510

洪承昊,陈京元,赵勇,宋德文,陈桂芳,张星耀.三峡库区松材线虫病扩张速度对人为活动的响应.生态学报,2017,37(20):6800-6808.

Hong C H, Chen J Y, Zhao Y, Song D W, Chen G F, Zhang X Y.A correlation of pine wood nematode dispersal rate with human activities—a case study in the Three Gorges Reservoir Area.Acta Ecologica Sinica,2017,37(20):6800-6808.

三峡库区松材线虫病扩张速度对人为活动的响应

洪承昊[1,2],陈京元[2],赵 勇[3],宋德文[4],陈桂芳[5],张星耀[6,*]

1 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所,北京 100091

2 湖北省林业科学研究院,武汉 430075

3 宜昌市夷陵区森检站,宜昌 443100

4 宜昌市夷陵区黄花镇林业站,宜昌 443106

5 重庆市林业科学研究院,重庆 400036

6 中国林业科学研究院林业新技术研究所,北京 100091

摘要:松材线虫病是我国森林重要的检疫性病害,除自然媒介天牛传播,人为因素介导的传播在松材线虫病扩散和蔓延中起着至关重要的作用。选择在我国松材线虫病的重点发生区域三峡库区,研究马尾松林景观格局和以人为活动强度为主要因子的松材线虫病扩散规律,尝试揭示松材线虫病扩散机制。结果显示三峡库区的疫点数在近年有上升趋势,各地区发病率得到一定控制;在疫区和非疫区,马尾松林斑块聚合度最大的是非疫区的大渡口,为 98.6406;斑块分离度最大的是非疫区的秭归,为 0.9318;方差分析结果显示马尾松林景观格局和松材线虫病之间没有相关性。进一步研究了松材线虫病和人为活动强度的联系,结果显示松材线虫病发病率和地区路网密度、人口总量具有较强的相关性,和地区 GDP、货运周转量相关性小。宜昌的松材线虫病发病率和路网密度的相关系数为 0.985, 和人口总数的相关系数为 0.866;重庆的松材线虫病发病率和路网密度相关系数为 0.924,和人口总数相关系数为 0.999;其次基于路网密度和人口总数,对三峡库区松材线虫病疫情在未来十年进行了预测,结果显示随着路网密度和人口总数的扩增,宜昌松材线虫病也将呈现逐步增大的趋势,R^2 值为 0.919 和 0.637;重庆发生趋势一致,R^2 值为 0.976 和 0.992。

关键词:松材线虫病;马尾松林景观;人为因子;路网密度;人口总数;发生趋势

A correlation of pine wood nematode dispersal rate with human activities—a case study in the Three Gorges Reservoir Area

HONG Chenghao[1,2], CHEN Jingyuan[2], ZHAO Yong[3], SONG Dewen[4], CHEN Guifang[5], ZHANG Xingyao[6,*]

1 *Institute of forest ecological environment and protection*, *Chinese Academy of Forestry*, *Beijing* 100091, *China*

2 *Hubei Academy of Forestry*, *Wuhan* 430075, *China*

3 *Station of Pest and Disease Control and Quarantine of Yiling District*, *Yichang* 443100, *China*

4 *Station of forestry of Huang Hua*, *Yichang* 443106, *China*

5 *Chongqing Academy of Forestry*, *Chongqing* 400036, *China*

6 *Research institute of forest new technology*, *Chinese Academy of Forestry*, *Beijing* 100091, *China*

Abstract: The pine wood nematode is a major quarantine pest in China, in addition to the vector insect *Monochamus alternatus* Hope, and humans play an important role in the proliferation and dispersal of these pests. This study was carried out in a concentrated pinewood nematode area of the Three Gorges reservoir. The landscape of region dominated by *Pinus massoniana* was analyzed based on the intensity of the effect of humans for diffusion processes, which are the key factors to

基金项目:林业公益性行业科研专项经费资助(201204501);国家重点研发计划(人工林重大灾害的成灾机理和调控机制)

收稿日期:2016-07-25; **网络出版日期**:2017-06-01

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: xyzhang@ caf.ac.cn

the dispersal of the pinewood nematode, in an attempt to reveal dispersal mechanisms. The results showed the number of epidemic towns increased, but the incidence rate of the pinewood nematode was controlled. For *P. massoniana* in epidemic or non-epidemic towns, the largest aggregation index was 98.6406 in Dadukou, which is a non-epidemic town; the largest division index was 0.9318 in Zigui, which is a non-epidemic town; and the results of the variance analysis showed that there was no correlation between the *P. massoniana* distribution pattern and the pinewood nematode. We further studied the correlation between humans and the pinewood nematode, and the results showed the incidence rate was correlated with the density of road networks and the total population, and had little correlation with the GDP or rotation volume of goods transport. In Yichang, a factorial analysis showed that the correlation coefficient of the incidence rate and density of the road network was 0.985, and the correlation coefficient of the rate and total population was 0.866. In Chongqing, a factorial analysis showed that the correlation coefficient of the rate and density of the road network was 0.924, the correlation coefficient of the rate and total population was 0.999. Then, in view of the density of the road network and total population, it was predicted that the incident rate of the pinewood nematode in Yichang will increase during the next decade as the density of the road network and total population increases, with R^2 values of 0.919 and 0.637, respectively. Results from Chongqing were consistent with R^2 values of 0.976 and 0.992, respectively.

Key Words: pine wood nematode; *Pinus massoniana* landscape pattern; human beings; density road network; total population; occurrence trend

松材线虫病的逐步扩散和侵入已经成为不争的事实,被国家列为重大森林生物灾害[1-2],松材线虫病通过媒介昆虫—松褐天牛(*Monochamus alternatus* Hope)在进行补充营养过程中,将松材线虫传入寄主体内,从而引起寄主植株衰弱萎蔫直至枯死,整个过程仅需数月。截止 2015 年,松材线虫病疫点已达 16 省份的 187 个区域,范围和程度越发严重。针对松材线虫病及其媒介昆虫个体的研究较多,然而控制效果却不理想,反而危害范围逐年扩大。人为干预的间接传播被认为是导致其远距离扩散的重要机制,疫木制品在人类活动通路(铁路、河流等)上的运输,人口密度、经济发展程度等都显著的影响松材线虫病的扩散[3-5]。因此研究人为活动等因素是控制松材线虫病的重要手段。从景观尺度研究有害生物,寻求新的解决办法已经受到研究学者的重视[6-8],从景观水平对森林病虫灾害的侵入和扩散,以及和景观格局之间的已有研究,对揭示森林病虫灾害的成因和防控具有重要意义[9-10]。

斑块、廊道和基质是景观的重要组成部分,廊道作为景观中唯一起到连接和传播作用的要素,生态作用显著[11]。随着城市化的快速发展,生态资源和环境问题之间的矛盾日益突出,土地的利用格局转换也异常频繁,廊道作用逐渐受到越来越多学者的重视,廊道本身有着双重作用,一来可以起着生态屏障作用,阻断廊道两侧的生物流和能量流,另一方面,廊道也起着连接斑块,形成通路,促进斑块间的能量流和生物流的作用[12-13];也因此,造成松材线虫病等重大森林病虫灾害扩散传播逐渐加剧,廊道的生态功能与廊道的规模、数量、结构和格局密切相关。廊道从属性上可以分为自然廊道和人工廊道,如江河等属于自然廊道,道路和树篱等属于人工廊道。松材线虫病的传播和扩散受人为活动影响较大,因此研究廊道对揭示松材线虫病的传播扩散规律和防控具有重要意义。本研究以三峡库区为研究对象,重点研究廊道的空间格局和松材线虫病之间的关系,为从景观尺度研究和控制松材线虫病提供理论支持[14-15]。

1　材料和方法

1.1　研究地概况

三峡库区东起湖北宜昌,西至四川省江津,地理范围 106°—110°50′E,29°16′—31°25′N,涵盖湖北巴东县、夷陵、秭归和重庆渝北、长寿巫溪等 19 个县市,面积总和约 5.4 万 km²[16]。库区地处我国地势第二级阶梯的东缘,地貌区划为板内隆升蚀余中低山地,总体地势西高东低,库区内有我国主要干流长江。库区内河谷平

坝约占总面积的 4.3%,丘陵占 21.7%,山地占 74%。库区地处亚热带的北缘,年平均气温为 17—19℃,年降水量 1000—1250 mm。库区现在广泛分布的是针叶林、针阔混交林、落叶阔叶林、灌丛和草丛等退化生态系统类型[17]。三峡地区的针叶林主要为马尾松(*Pinus massoniana*)林等,针阔混交林常见的有马尾松、栓皮栎混交林。

1.2 数据来源和方法

1.2.1 数据来源

松材线虫病危害数据来源于湖北省森林病虫害防治检疫总站和重庆市林业科学研究院,由于宜昌市 2006 年开始确定有疫点,因此起止年份为 2006 年到 2015 年,由于松材线虫病以侵入马尾松林形成危害,因此统计和分析都以马尾松林被害情况反应松材线虫病情况,包括被害面积和被害株数。矢量数据来源于湖北省林业调查规划院和中国科学院资源环境科学数据中心(含全国马尾松林分布数据)。国民经济数据和公路通路里程数据来源于宜昌市和重庆市统计年鉴,统计年份起止为 2006 年到 2015 年。

1.2.2 分析方法

根据三峡库区历年松材线虫病疫点发生情况,主要将库区分为东西两段即宜昌段和重庆段,巴东县松材线虫病发生量小,本研究暂时未计入考虑。以两区域县市区为单位进行统计,基于矢量数据,在 ArcGIS[18] 平台下,以大尺度绘制 2006、2010 和 2015 年的疫点分布图;以乡镇为单位,统计 2006 到 2015 年的疫点个数,以在更小的尺度描述松材线虫病危害的情况。以乡镇为单位统计疫点发病率,即实际发生面积和单位内松林面积之比代表松材线虫病发生程度。

将研究区域划分为疫点区域和非疫点区域,根据截止到 2015 年国家林业局发布的疫点公告,研究区疫点区域有 9 个,分别是猇亭、点军、宜都、夷陵、云阳、长寿、巴南区、万州和涪陵;非疫点区域有 18 个,分别是伍家岗、宜昌市辖区、西陵区、兴山、当阳、秭归、大渡口、江北、巫山、九龙坡、巫溪、南岸、江津、渝北、奉节、开县、丰都和石柱。在 ArcGIS 平台支持下,将各研究区马尾松林转换为矢量数据,结果导入 Fragstates 平台,分析类型尺度下景观格局差异,选取马尾松林面积(CA)、分离度指标选取斑块个数(NP)、斑块密度(PD)和分离度(Division),聚合度指标选取斑块形状指数(Landscape Shape Index LSI)和斑块聚合度指数(Aggregation Index AI),采用单侧方差分析疫点区域和非疫点区域。

选择代表区域国民经济和社会发展程度的指标描述当地人类活动强度,以通车公路里程、GDP 总量、人口密度和货运总量 4 个指标,选取 2006 年到 2015 年 10a 统计数据。直观反应出三峡库区近 10 年人类活动强度的变化。通过因子分析、主成分分析确定人为活动强度因子中对松材线虫病影响最大的因素。确定影响松材线虫病的主要人为因素,并通过预测模型对未来 10 年松材线虫病发生趋势做出评估[19]。

2 结果和分析

2.1 库区松材线虫病扩张趋势

3 个时期松材线虫病的疫点空间分布格局见图 1,从图中可以看出 2006 年到 2010 年期间,在宜昌市将秭归县的疫点拔除,重庆市没有明显的县市受到侵入成为疫点;然而 2010 年到 2015 年期间,重庆市却增加了一个地区,巴南区,且发生较为严重,宜昌市又将点军区和猇亭区两个疫点疫情控制较好,没有出现危害。从图中看出,疫点的分布主要沿着长江流域,对长江流域两岸的生态安全造成极大的威胁,由于该流域处于我国中西部地区,地市起伏大,多为丘陵山区,一旦山林遭遇破坏,极易造成大面积的山体滑坡等地质灾害。

在以地区乡镇为单位进行统计后,宜昌市松材线虫病乡镇疫点数从 2006 年到 2015 年呈现稳步减少的趋势,2009 年个数最多有 9 个,2015 年个数最少仅有 6 个;重庆市则在该时期变化波动大,呈现疫点增多的趋势,从 2005 年最少的 24 个疫点乡镇到 2015 年疫点乡镇 55 个。从危害率看,宜昌市松材线虫病危害率呈现减小的趋势,2010 年危害率最高为 0.4114%,除去刚发现松材线虫病确定为疫点年份的 2006 年外,2015 年最小危害率仅为 0.2435%;重庆市松材线虫病危害率呈现先降低后增大的趋势,且增大趋势明显,最低年份是

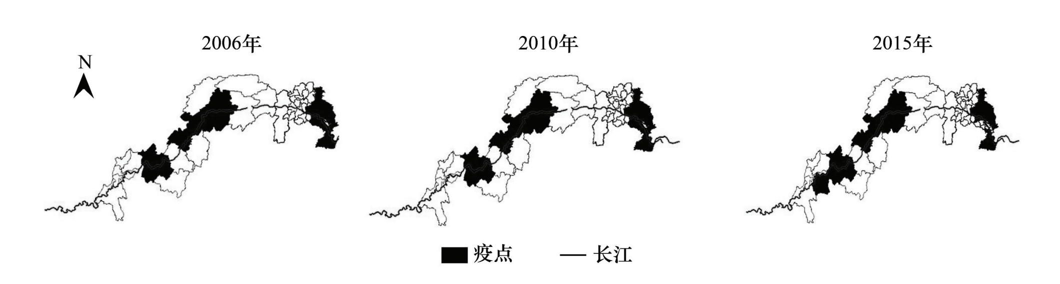


图 1　2006 到 2015 年 3 个时期库区松材线虫病分布情况

Fig.1　The distribution of pinewood nematode from 2006 to 2015

2010 年为 0.2911%,最高的是 2015 年为 0.5450%(图 2)。

2.2　疫点和非疫点区域景观格局

在相同行政尺度下比较疫区和非疫区的马尾松林景观格局(图 3),选取研究区域马尾松林面积、斑块数、斑块密度、斑块分离度、斑块形状指数和斑块聚合度指数在类型水平下比较差异。

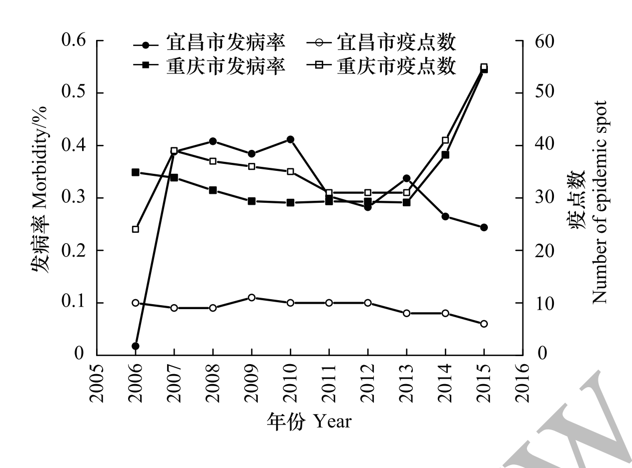


图 2　研究区 2006—2015 年疫点和危害情况

Fig.2　The epidemic town and harm of study area from 2006 to 2015

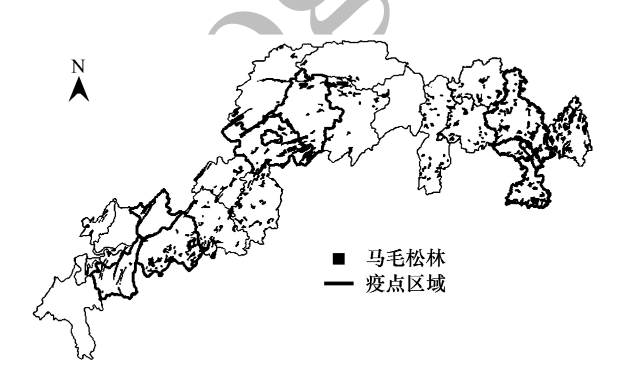


图 3　疫区和非疫区马尾松林景观格局情况

Fig.3　The *Pinus massoniana* landscape pattern in epidemic and non-epidemic towns

结果见表 1,可知,松林面积最大的地区是当阳,达到 68261hm^2,最小的是伍家岗地区为 615hm^2;马尾松林斑块个数最多的是石柱,有 35 个,最小的是西陵只有 1 个。斑块密度最大的是宜昌市市辖区为 0.8547,是非疫区,最小的是长寿,仅为 0.0268,是疫点区域;斑块分离度最大的是秭归,为 0.9318,是非疫区,最小的是大渡口和西陵,因为仅有一个马尾松林斑块,为 0,是非疫区;斑块形状指数最大的是石柱,为 8.8032,最小的是大渡口,为 1.5065,都是非疫区;斑块聚合度最大的是大渡口,为 98.6406,最小的是伍家岗。为 92.3729,都是非疫区;通过单侧方差分析,显著性水平在 0.05,马尾松林面积结果显示,F 值为 2.38901,P 值为 0.13476,疫区和非疫区差异不显著;分析斑块个数结果表明,F 值为 1.23841,P 值为 0.27636,疫区和非疫区差异不显著;分析斑块密度结果表明,F 值为 0.94982,P 值为 0.3391,疫区和非疫区差异不显著;分析斑块形状指数结果表明,F 值为 2.98908,P 值为 0.09616,疫区和非疫区差异不显著;分析斑块分离度指数结果表明,F 值为 2.16487,P 值为 0.15367,疫区和非疫区差异不显著;分析斑块聚合度指数结果表明,F 值为 0.00865,P 值为 0.92666,疫区和非疫区差异不显著;

2.3　人为活动强度变化及主成分分析

选择研究区宜昌市和重庆市全市的 GDP、人口总数、货运总量和通车公路里程为研究因子。通过 2006 至 2015 年 10 年间的变化,见图 4,得知宜昌市和重庆市 GDP 总量都呈增加的趋势,宜昌市从 2006 年 694.91 亿元增加到 2015 年 3384.8 亿元,重庆市 GDP 增速更明显,从 3907.23 亿元增加 15719.72 亿元;路网密度两市在

10 年间密度越来越大,宜昌市从每平方公里 1.1845 km 增加到 1.3632 km,重庆市路网密度高于宜昌市,从每平方公里 1.2172 km 增加到 1.5515 km;人口总数上,10 年间变化不大,重庆市有所增加;货运周转量方面,两市都明显的显现增加的趋势,宜昌市从 2006 年 51.04 亿 t/km 增长到 2015 年 522.22 亿 t/km,重庆市的增幅更大,从 821.38 亿 t/km 增长到 2783.04 亿 t/km,仅仅在 2013 年有所降低。

表 1 疫点和非疫点区域马尾松林景观格局比较

Table 1 *Pinus massoniana* landscape pattern contrast of epidemic and non-epidemic towns

区域类型 Area type	区县 Region	景观面积 CA	景观数目 NP	斑块密度 PD	形状指数 LSI	分离度 DIVISION	聚合度指数 AI
疫点区域	猇亭	1665	5	0.3003	2.8537	0.6573	95.3202
Epidemic area	点军	3790	4	0.1055	2.8629	0.7483	96.9018
	长寿	14928	4	0.0268	5.2367	0.1732	96.4945
	宜都	26690	20	0.0749	6.0306	0.883	96.8993
	云阳	24172	20	0.0827	6.2058	0.8965	96.6294
	夷陵	51772	34	0.0657	7.9408	0.9311	96.9298
	巴南区	18327	13	0.0709	7.9779	0.8585	94.8025
	万州	66650	23	0.0345	8.0406	0.9012	97.2587
	涪陵	50198	23	0.0458	8.0624	0.8936	96.8273
非疫点区域	大渡口	1473	1	0.0679	1.5065	0	98.6406
Non-epidemic area	市辖区	234	2	0.8547	1.5161	0.0085	96.3387
	西陵	2105	1	0.0475	1.5217	0	98.8344
	江北	2368	2	0.0845	2.2755	0.4998	97.3049
	巫山	3767	8	0.2124	2.5203	0.1608	97.4767
	伍家岗	615	3	0.4878	2.8	0.5268	92.3729
	九龙坡	3808	2	0.0525	2.9355	0.3551	96.7966
	巫溪	5573	5	0.0897	3.18	0.7621	97.0262
	南岸	3781	5	0.1322	3.4634	0.7121	95.9269
	江津	2643	7	0.2649	4.7573	0.6822	92.5333
	渝北	9273	8	0.0863	5.4352	0.7754	95.3359
	兴山	21472	17	0.0792	5.7653	0.8771	96.7151
	奉节	39854	15	0.0502	5.8468	0.7792	97.175
	开县	26502	10	0.0377	6.1166	0.808	96.8336
	秭归	23055	25	0.1084	6.4441	0.9318	96.3869
	丰都	37398	24	0.0642	7.7339	0.8681	96.4977
	当阳	68261	33	0.0483	8.3346	0.8421	97.1794
	石柱	34274	35	0.1021	8.8032	0.952	95.7537

CA:斑块面积 Class area;NP:斑块个数 Number of patches;PD:斑块密度 Patch density;Division:分割指数 Landscape division index;LSI:斑块形状指数 Landscape Shape Index;AI:斑块聚合度指数 Aggregation Index

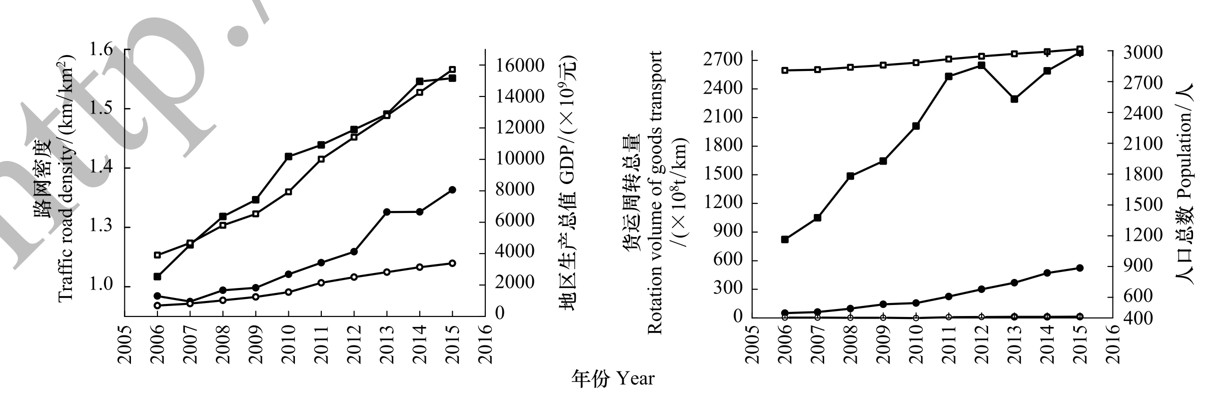


图 4 2006—2015 年人为活动因子变化

Fig.4 The intensity of human activity change from 2006 to 2015

通过因子分析法,宜昌的取样足够度的 KMO 值大于 0.7,拒绝原假设相关系数为 0,适合做因子分析,得到相关矩阵图(表 2),发病率和路网密度的相关系数为 0.985,和人口总数的相关系数为 0.866;公因子方差显示松材线虫病发病率、路网密度和人口数初始值和提取值均为 1,表明两个因子可以代表发病率,因子分析结果有效。解释的总方差(主成分分析法)结果显示,表 3,发病率和路网密度两项因子特征值大于 1,且累计贡献达到 96.748%,而 GDP、货运周转量和人口总数初始特征值分别为 0.131、0.023 和 0.011。

表 2　多因子相关矩阵

Table 2　Multiple factor correlation matrix

	地区 Region	指标 Index	发病率 Morbidity	路网密度 Density of road net work	人口总数 Total population
相关矩阵 Correlation matrix	宜昌市	发病率	1.000	0.985	0.866
		路网密度	0.985	1.000	0.863
		人口	0.866	0.863	1.000
	重庆市	发病率	1.000	0.924	0.999
		路网密度	0.924	1.000	0.933
		人口	0.999	0.933	1.000

表 3　多因子分析主成分分析(解释的总方差-宜昌)

Table 3　Multiple factor analysis of principal component analysis (Yichang)

成分 Component	初始特征值 The initial eigenvalue			提取平方和载入 Extract the square and load			旋转平方和载入 Rotate the square and load		
	合计 Total	方差的/% Variance	累积/% Accumulate	合计 Total	方差的/% Variance	累积/% Accumulate	合计 Total	方差的/% Variance	累积/% Accumulate
1	3.797	75.939	75.939	3.797	75.939	75.939	3.736	74.728	74.728
2	1.040	20.808	96.748	1.040	20.808	96.748	1.101	22.020	96.748
3	0.128	2.553	99.301	0.127	2.553	99.300	0.374	7.482	99.287
4	0.024	0.471	99.772	0.023	0.471	99.772	0.023	0.466	99.753
5	0.011	0.228	100	0.011	0.227	100	0.0123	0.246	100

提取方法:主成份分析

重庆市结果显示,表 4,取样足够度的 KMO 值 0.756,拒绝原假设相关系数为 0,适合做因子分析,相关矩阵结果显示发病率和路网密度相关系数为 0.924,和人口总数相关系数为 0.999;公因子方差的提取值均为 1,表明可以代表发病率,可以用路网密度和人口总数趋势代表松材线虫病发病率的高低,相关性高,解释的总方差(主成分分析法)显示发病率大于 1,路网密度接近 1,累计贡献率达到 98%以上。GDP、货运周转量和人口总数初始特征值分别为 0.059、0.016 和 0.001。

表 4　多因子分析主成分分析(解释的总方差-重庆)

Table 4　Multiple factor analysis of principal component analysis (Chongqing)

成分 Component	初始特征值 The initial eigenvalue			提取平方和载入 Extract the square and load			旋转平方和载入 Rotate the square and load		
	合计 Total	方差的/% Variance	累积/% Accumulate	合计 Total	方差的/% Variance	累积/% Accumulate	合计 Total	方差的/% Variance	累积/% Accumulate
1	4.097	81.939	81.939	4.097	81.939	81.939	3.734	74.680	74.680
2	0.827	16.536	98.474	0.827	16.536	98.474	1.186	23.719	98.399
3	0.059	1.185	99.659	0.059	1.185	99.659	0.061	1.216	99.615
4	0.016	0.329	99.989	0.016	0.329	99.989	0.019	0.373	99.989
5	0.001	0.011	100	0.001	0.011	100	0.001	0.011	100

提取方法:主成份分析

通过主成分分析显示,除去松材线虫病发病率作为主因子外,宜昌的路网密度初始特征值大于 1,重庆的

路网密度初始特征值接近于 1,且累计占比为 96.748%和 98.474%,因此进一步说明路网密度可以主要反映松材线虫病发病率的情况。

2.4 松材线虫病的疫情预测

通过以上结论,路网密度可以代表地区松材线虫病的疫情发生情况,人口总数虽然主成分分析显示不能完全代表发病率的情况,但是相关矩阵结果表示关联性高,因此根据路网密度和人口总数变化趋势,通过建模模拟未来 10a 松材线虫病的发生趋势图。通过“专家建模器”、“ARIMA”和“指数平滑法”不同建模类型的比较,得到指数平滑法的 Holt 线性趋势描述较为合理,结果见图 5 和图 6。宜昌市松材线虫病疫情发生的趋势较大,特别是随着路网密度和人口总数的上升,模拟值显示出直线上升的趋势,R^2 值为 0.919 和 0.637,置信度 95%,说明指数平滑法的 Holt 线性拟合具有较好的拟合效果,能够反映出松材线虫病的发生趋势。通过重庆市的路网密度和人口总数代表松材线虫病疫情的发生去情况,总体趋势依然呈现上升的趋势,且程度上更大,基于重庆市路网密度的预测模型中,R^2 值为 0.976;基于重庆市人口总数的预测模型中,R^2 值为 0.992,置信度 95%;

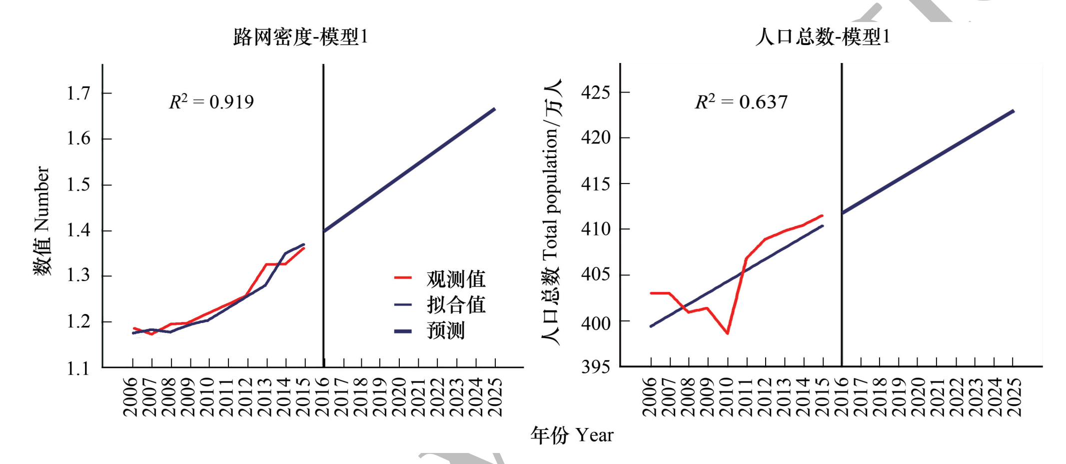


图 5 基于路网密度和人口的预测模型(宜昌)

Fig.5 The forecast model base on density of road network and total population (Yichang)

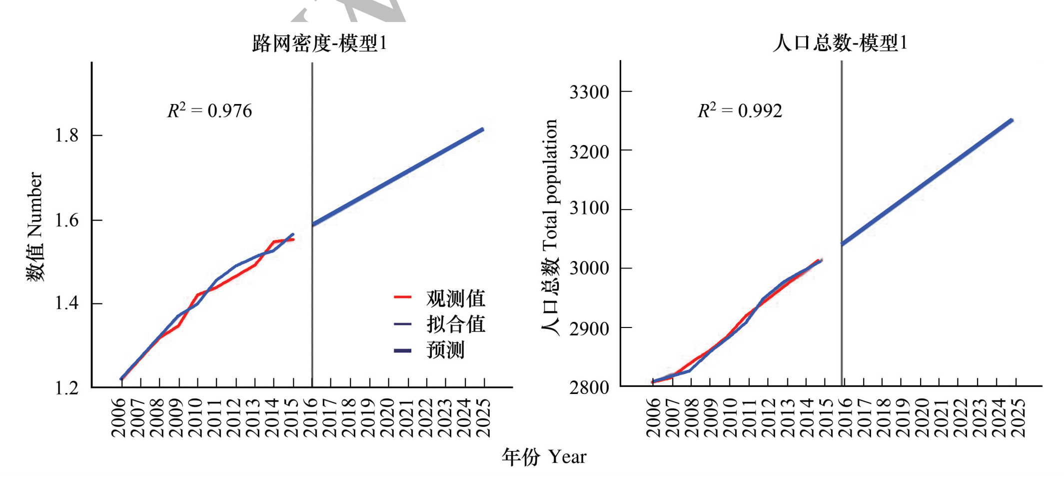


图 6 基于路网密度和人口的预测模型(重庆)

Fig.6 The forecast model base on density of road network and total population (Chongqing)

3 讨论

3.1 马尾松林景观格局和松材线虫病疫情

松材线虫是我国林业极其重要的入侵性有害生物,对我国松林资源造成了不可逆的毁坏。利用景观生态

学的有关理论对防控治理松材线虫病有着重要的实际意义[20-21]。马尾松是松材线虫病的寄主,直接导致马尾松萎蔫死亡,然而通过本研究,从景观尺度研究表明,马尾松林的空间格局并不能直接导致松材线虫病的疫情发生,即马尾松林景观格局和松材线虫病的发生没有相关性。在此基础上,进而推断松材线虫病疫情的发生和人为活动因素或地区景观格局等因素有关。然而松林是松材线虫的天然寄主,松材线虫病的发生必然依靠寄主的分布、树势和其他属性,因此从景观层次研究组分结构和松材线虫病之间的关系值得做更多工作。

3.2　经济发展程度和松材线虫病疫情

松材线虫病疫情虽受到人为活动影响,已有学者对其和景观格局进行了研究分析,然而经济发展程度(人为活动强度)的界定却鲜有报道[15,22-23]。本文通过历史资料找出松材线虫病和人为活动强度因子的联系,包括路网密度、人口总数、GDP 和货运总量,结果显示路网密度和人口总数与松材线虫病的疫情有着显著的正相关性。近年来人民社会的需求增加造成了路网建设的加多,规划越来越密,城市之间,地区之间和村与村之间的交往联系也越来越频繁,造成松材线虫病的被动传播几率加大。然而随着三峡库区两市和巴东县的路网规划升级,宜湘高速公路、一、二级公路等一批重大路网工程项目的实施,对环境和生态安全必将造成更大的风险。其次路网密度的增加反应了生境斑块隔离强度的增加,渗透理论[24]的生境隔离效应(effect of habitat loss)指出,生境斑块间隔程度对生物个体迁移和种群动态的影响表现临界阈现象,达到某一程度,生态学影响突然加剧,即表明松林随着路网密度的增加而隔离,松材线虫病却并不是下降的趋势,它还受到媒介昆虫-松褐天牛的迁移能力的影响,生境隔离程度随着物种迁移能力的变化一样具有临界阈现象[25]。

3.3　人口压力和松材线虫病疫情

人口总数上,宜昌市和重庆市都表现出稳定略有增加的趋势。人口总数的增加,表明区域内生产生活强度在加强,因此而带来的对资源和环境的巨大压力,人口总数的增加必然导致人类景观趋向多样性和复杂性,人类景观也是研究景观生态学和人类相互作用的基本单元,人口总数最大的体现出人类对自然资源和环境资源的依赖程度,基数越大对资源和环境的需求越大,不可避免的造成人类景观越多,对人类景观的研究有助于研究自然和社会耦合系统[26],更清楚的表明自然资源的变化和人类社会之间的关系,特别是自然资源的空间异质性对社会经济发展的影响。

4　结论

本文以三峡库区为研究对象,选取路网密度、GDP 总量、人口密度和货运总量 4 个变量指标,分析 2006 年到 2015 年 10a 变化数据,研究与松材线虫病扩散速度的关系,研究表明路网密度和人口总数与松材线虫病的疫情有着显著的正相关性,重庆的相关系数值结果为 0.924 和 0.999,宜昌的结果为 0.985 和 0.866。其次采取 Holt 线性趋势法,基于路网密度和人口总数描述未来十年库区松材线虫病疫情,结果表明库区两市松材线虫病仍将处于逐步增大的趋势,宜昌分析结果表明随着路网密度和人口总数的上升,模拟值显示出直线上升的趋势,R^2 值为 0.919 和 0.637,重庆分析结果表明发生程度上较宜昌更为严重,上升趋势更为显著,基于路网密度和人口总量的预测模型中,R^2 值为 0.976 和 0.992,置信度均为 95%;

参考文献(References):

[1] 萧刚柔. 中国森林昆虫(第二版). 北京: 中国林业出版社, 1992: 3-91.

[2] 杨宝君, 潘宏阳, 汤坚, 王玉嫱, 汪来发. 松材线虫病. 北京: 中国林业出版社, 2003: 77-80.

[3] 来燕学, 周永平, 俞林祥, 沈炳顺, 蔡道尧. 松材线虫病新疫点成因机制初探. 浙江林学院学报, 1999, 16(4): 425-429.

[4] 谢丙炎, 成新跃, 石娟, 张青文, 戴素明, 成飞雪, 骆有庆. 松材线虫入侵种群形成与扩张机制——国家重点基础研究发展计划"农林危险生物入侵机理与控制基础研究"进展. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2009, 39(4): 333-341.

[5] Robinet C, Roques A, Pan H Y, Fang G F, Ye J R, Zhang Y Z, Sun J H. Role of human-mediated dispersal in the spread of the pinewood nematode in China. PLoS One, 2009, 4(2): e4646.

[6] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2001: 219-228.

[7] Forman R T T, Godron M. Patches and structural components for a landscape ecology. BioScience, 1981, 31(10): 733-740.

[8] 梁军, 张星耀. 森林有害生物的生态控制技术与措施. 中国森林病虫, 2004, 23(6): 1-8.
[9] 陈利顶, 傅伯杰. 景观连接度的生态学意义及其应用. 生态学杂志, 1996, (4): 37-42, 73-73.
[10] Turner M G. Landscape ecology: The effect of pattern on process. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 1989, 20(1): 171-197.
[11] 刘世梁, 杨志峰, 崔保山, 甘淑. 道路对景观的影响及其生态风险评价——以澜沧江流域为例. 生态学杂志, 2005, 24(8): 897-901.
[12] 国庆喜, 王化儒, 高梅香. 景观破碎化对东北虎主要猎物种群动态影响的模拟. 生态学报, 2010, 30(1): 15-23.
[13] Nicholls C I, Parrella M, Altieri M A. The effects of a vegetational corridor on the abundance and dispersal of insect biodiversity within a northern California organic vineyard. Landscape Ecology, 2001, 16(2): 133-146.
[14] 张星耀, 吕全, 冯益明, 石雷, 梁军, 严东辉, 刘振宇. 中国松材线虫病危险性评估及对策. 北京: 科学出版社, 2011: 188-198.
[15] 陈利顶, 傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析——以山东省东营市为例. 生态学报, 1996, 16(4): 337-344.
[16] 曹水兵. 2013 宜昌年鉴. 宜昌: 长江出版社, 2013: 3-10.
[17] 陈灵芝, 陈伟烈. 中国退化生态系统研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 61-93.
[18] 汤国安, 杨昕. ArcGis 地理信息系统空间分析实验教程(第二版). 北京: 科学出版社, 2012: 16-527.
[19] Kirkpatrick L A, Feeney B C. A Simple Guide to IBM SPSS Statistics for Version 20.0. 13th edition. Cambridge: Wadsworth Publishing, 2012: 5-50.
[20] 孙志强, 张星耀, 肖文发, 梁军, 张兆欣. 景观病理学: 森林保护学领域的新视角. 林业科学, 2010, 46(3): 139-145.
[21] 洪承昊, 罗刚, 刘全芳, 陈京元. 针叶林景观格局及风险分析——以宜都市马尾松林为例. 林业科技开发, 2014, 28(4): 26-29.
[22] 佟艳, 樊良新, 梁彦兰. 焦作市绿色廊道景观组成与格局分析. 水土保持通讯, 2013, 33(2): 291-295.
[23] 孙雅辉, 梦莉, 田栢, 李国梁, 李月辉, 孙建新. 大青山自然保护区人为活动空间分布及其对景观格局的影响. 应用生态学报, 2014, 25(11): 3247-3254.
[24] Gardner R H, O'Neill R V. Pattern, process, and predictability: The use of neutral models for landscape analysis // Turner M G, Gardner R H, ed. Quantitative Methods in landscape Ecology. New York: Springer-Verlag, 1991: 289-307.
[25] Wiens J A. Metapopulation dynamics and landscape ecology // Hanski I A, Gilpin M E, eds. Metapopulation biology: ecology, Genetics, and Evolution. San Diego: Academic Press, 1997: 43-62.
[26] Wu J G. Landscape ecology, cross-disciplinary, and sustainability science. Landscape Ecology, 2006, 21(1): 1-4.

